BEOBACHTUNGEN

ÜBER DAS

VERHALTEN ELEKTRISCHER WELLEN

AN DRÄHTEN.

Inaugural-Dissertation

zur

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

genehmigt von der hohen philosophischen Facultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn

und

öffentlich zu vertheidigen

am 25. Januar 1893

von

JOSEF RITTER VON GEITLER-ARMINGEN

aus Prag.

Opponenten:

Gustav Glück, stud. phil.
Jean Peters, stud. phil.
Julius Precht, Assistent am physik. Institut zu Münster.

PRAG 1893.

IM SELBSTVERLAGE DES VERFASSERS.

DRUCK VON HEINR. MERCY IN PRAG.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547419_0124

Einleitung.

Sendet man nach irgend einer der bekannten Methoden eine elektromagnetische Störung längs einer unendlich langen, geraden, aus zwei parallel gespannten Drähten bestehenden Leitung, so pflanzt sich diese Störung ungehindert fort, abgesehen von der Dämpfung, welche sie erleidet; diese ist in erster Linie eine Function des Materials, des Querschnitts und des gegenseitigen Abstandes der Drähte und hängt — vorausgesetzt, dass die Störung die Gestalt eines Wellenzuges hat — wahrscheinlich auch von der Wellenlänge ab.

Wird an irgend einer Stelle der Leitung der Parallelismus der Drähte gestört, indem man dieselben längs einer kleinen Strecke entweder einander nähert, oder von einander weiter entfernt, so wird, wie meine später zu beschreibenden Versuche beweisen, an dieser Stelle die ruhige Fortpflanzung der elektromagnetischen Störung gehindert. Ein Theil der Welle geht über die betreffende Stelle hinweg, ein anderer Theil — dessen Größe, wie man von vorneherein vermuthen darf, von der Größe der an der Leitung angebrachten Veränderung abhängt, — wird reflectirt und bildet mit dem nachfolgenden Theile des Wellenzuges ein System stehender Wellen, ganz analog demjenigen, welches V. Bjerknes[1]) an dem geschlossenen oder geöffneten Ende einer begrenzten secundären Leitung beobachtet und in so interessanter Weise zur Ermittlung der Dämpfung im primären Hertz'schen Leiter verwendet hat.

Den soeben beschriebenen ganz analoge Reflexionen treten auch an solchen Stellen auf, wo eine Leitung, deren Draht einen bestimmten Querschnitt hat, in eine solche übergeht, deren Draht einen davon verschiedenen Querschnitt besitzt, wobei der gegenseitige Abstand der Drähte beidemal als gleich vorausgesetzt ist.

---

[1]) V. Bjerknes. Wied. Ann. 44. p. 513, 1891.

Einen ganz ähnlichen Erfolg, wie durch Anbringen einer Verengung, kann man auch durch Anschalten eines Condensators an einem Punkte der Leitung erreichen. Verbindet man von zwei, gleich weit vom Ursprunge der Wellen entfernten Punkten der Leitung jeden mit einer Belegung des aus zwei Platten bestehenden Condensators, so lässt sich durch allmähliche Vergrößerung seiner Capacität eine allmählich fortschreitende Verengung der Leitung bequem nachahmen. Die im folgenden mitzutheilenden quantitativen Versuche sind durchwegs mit solchen Plattencondensatoren ausgeführt. Wegen der Einzelheiten sei auf das spätere verwiesen.

Ist die an der Leitung angebrachte Verengung unendlich groß, d. h. ist die Leitung an der betreffenden Stelle vollständig abgeschlossen, so findet bei der Reflexion eine Phasenverschiebung von einer halben Wellenlänge statt.

Ist die Leitung an der betreffenden Stelle vollständig geöffnet, (durchschnitten), so ist die Phasenverschiebung Null.

Für Verengungen, beziehungsweise Erweiterungen oder denselben gleichwertige Veränderungen der Leitung, welche zwischen diesen beiden Extremen liegen, schwankt der bei der Reflexion erlittene Phasenverlust zwischen Null und einer ganzen Wellenlänge.

Das Elektrometer.

Bei den Messungen bediente ich mich der zuerst von H. Hertz[1]) beschriebenen mechanischen Wirkungen elektrischer Drahtwellen. Den Apparat, welchen ich verwendete, könnte man passend Differentialelektrometer nennen. Er gestattet es, mit Leichtigkeit Unterschiede in der Intensität der Wellen an beliebig weit von einander entfernten Punkten einer Leitung zu bestimmen.

Die Einrichtung des kleinen Instrumentes ist aus Figur I[2]) ersichtlich. In einem parallelepipedischen Glaskästchen von 12 *cm* Höhe, 7 *cm* Länge und 2 *cm* Breite hängt an einem äußerst feinen Quarzfaden[3]) eine Doppelnadel aus dünngewalztem

[1]) H. Hertz, Wied. Ann. 42, p. 407, 1891.

[2]) Die Figurentafel befindet sich am Ende der Arbeit.

[3]) Denselben bekam ich von Herrn Privat-Docenten Dr. Eugen Blasius in Berlin geschenkt, wofür ich an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank ausspreche.

Aluminium. Die beiden Theile der Nadel sind bei *g* durch ein 5 *mm* langes dünnes Glasstäbchen starr verbunden. Die obere Nadel trägt einen Ansatz, mit dessen Hilfe sie in den kleinen, am Quarzfaden angekitteten Drahtbügel eingehängt werden kann. Die untere Nadel hat bei *s* einen kleinen Spiegel, der es ermöglicht, Ablenkungen der Nadel mit Fernrohr und Scala zu messen.

Da die Torsionskraft des Quarzfadens äußerst gering war, wurde die richtende Kraft eines 2 *mm* langen, bei *m* an der untern Nadel befestigten Magneten benutzt, welcher mit Hilfe je eines vor und hinter dem Elektrometer angebrachten Magneten eingestellt werden konnte. Zur feinen Einstellung diente ein dritter Magnetstab.

An der Innenseite der vordern und hintern Glaswand sind Messingplättchen von 1,5 *cm* Radius angekittet. An diesen Plättchen befinden sich Ansätze, welche das Glas durchsetzen, und mit den Leitungsdrähten verbunden werden können. An der vorderen Glaswand sind die Platten bei 2 und 3, an der rückwärtigen bei 1 und 4 angebracht.

Werden mithin die Platten 1 und 2 mit der Drahtleitung verbunden, so wird die Elektrometernadel, von oben gesehen, im Sinne des Uhrzeigers gedreht. Eine entgegengesetzte Drehung findet statt, wenn man die Platten 3 und 4 mit der Leitung verbindet. Es ist also klar, dass, wenn man denselben Wellenzug auf beide Plattenpaare wirken lässt, der resultirende Ausschlag die Differenz der Intensitäten angibt, welche die Welle bei 1, 2, beziehungsweise 3, 4 besitzt, und zwar mit dem richtigen Vorzeichen, vorausgesetzt, dass die Stellung der Nadel ursprünglich eine solche war, dass bei gleichzeitiger, gleich starker Einwirkung auf 1, 2, wie auf 3, 4 kein Ausschlag eintritt.

Die Versuchsanordnung.

Die von mir benutzte Versuchsanordnung[1]) war folgende:

Als Erreger der Schwingungen diente ein Ruhmkorff'scher Inductionsapparat, dessen Spule eine Länge von 25 *cm* hatte. Er gab, durch 2 Accumulatoren getrieben, circa 3 *cm* lange Funken zwischen Spitzen.

[1]) Siehe Figur II.

Dem primären Leiter gab ich die von Blondlot[1]) angegebene Form. Am äußeren Umfang eines 1 *cm* breiten Holzreifens von 70 *cm* Durchmesser war ein 2 *mm* starker Kupferdraht befestigt, der bei Z und Z' kreisförmige Zinkplatten von 40 *cm* Durchmesser trug; ihr gegenseitiger Abstand war 4 *cm*. Bei f befindet sich die Funkenstrecke. Als Elektroden wurden Messingkugeln von 4 *cm* Durchmesser verwendet.

Die Länge der mit dieser Vorrichtung erzeugten elektrischen Wellen war $\lambda = 18{,}4$ *m*.

Der 1 *mm* starke Kupferdraht der secundären Leitung [soweit er sich in der Nähe des primären Kreises befand, von einem Kautschukschlauch umgeben], war am inneren Umfang des Reifens befestigt. Von N, N' an hatten die beiden Theile des secundären Drahtes, welche im folgenden einfach als Leitung bezeichnet werden, die überall möglichst gleiche gegenseitige Entfernung von 8 *cm*.

Die 220 *m* lange Leitung war über passend angebrachte, mit entsprechenden Einschnitten für die Drähte versehene Holzstützen gelegt und befand sich theils in den Gängen des hiesigen physikalischen Instituts, theils im Beobachtungsraum.

An das Ende der Kupferleitung waren aus einem später zu erwähnenden Grunde[2]) noch circa 60 *m*, 0,1 *mm* starken Eisendrahtes angeschaltet. Die Enden desselben waren — was übrigens unwesentlich — mit einander verbunden.

Ungefähr 150 *m* vom Ursprung der Wellen entfernt war das Differentialelektrometer D aufgestellt. Die beiden Plattenpaare desselben waren durch ein Stück der Leitung von der Länge $\frac{\lambda}{4}$ verbunden. Doch konnte natürlich nach Belieben auch nur eines der Paare allein benutzt werden; man brauchte zu diesem Zwecke nur die Verbindung des andern Paares mit der Leitung aufzuheben.

Die vom Inductorium ausgehenden Wellen giengen zuerst zu den oberen und dann zu den unteren Platten.

Die an der Leitung anzubringenden Veränderungen wurden auf verschiedene Weise bewerkstelligt. Eine Verengung oder

---

[1]) R. Blondlot, C. R. 114. p. 283. 1892 oder Graetz, Revue, 1. p. 308, 1892.

[2]) Siehe Seite 7 u. 8.

Erweiterung konnte leicht mit Hilfe eines mit entsprechenden Einschnitten versehenen Holzes erzielt werden. Da es aber bei den Versuchen darauf ankam, eine und dieselbe Veränderung an verschiedenen Stellen der Leitung schnell hintereinander vorzunehmen, ohne dabei die Drähte dauernd zu deformiren, so wurden an Stelle der Verengungen, wie oben erwähnt, Plattencondensatoren verschiedener Größe verwendet. Die Platten, deren gegenseitiger Abstand meist 2 *cm* betrug, waren kreisförmig aus Zinkblech geschnitten. Mit Hilfe kurzer, angelötheter Kupferdrähte konnten die Condensatoren leicht an einer beliebigen Stelle der Leitung angebracht werden. (Siehe Figur III.)

Bei den Versuchen mit Drähten verschiedenen Querschnittes musste die Leitung an der betreffenden Stelle durchschnitten werden.

Ausführlichere, soweit es angieng, quantitative Versuche habe ich bisher ausschließlich mit Condensatoren angestellt.

Die anderen Erscheinungen sind nur qualitativ festgestellt worden.

Die Formeln.

Zur mathematischen Darstellung der Beobachtungsresultate in erster Annäherung möge die folgende Überlegung dienen:

Längs der x-Axe eines rechtwinkligen Coordinatensystems komme aus dem positiv Unendlichen ein sinusförmiger Wellenzug von der Amplitude A, der Wellenlänge λ und der Periode τ; dieser Wellenzug wird dargestellt durch die Gleichung:

$$Y = A \operatorname{Sin} (\alpha t + \alpha_1 x), \qquad 1)$$

wenn

$$\alpha = \frac{2\pi}{\tau}; \quad \alpha_1 = \frac{2\pi}{\lambda}. \qquad 2)$$

Bei Erreichung des Nullpunktes zur Zeit $t = t_0$ werde ein Theil desselben mit der Phasenverzögerung ε reflectirt, während der Rest der Welle längs der negativen x-Axe weitergeht. Man kann dies so ausdrücken, dass von dem Momente $t = t_0$ an vom Nullpunkte zwei Wellenzüge ausgehen:

nach der positiven Seite der x-Axe:

$$y = a \operatorname{Sin} [\alpha t - \alpha_1 (x + \varepsilon)] \qquad 3)$$

nach der negativen Seite:

$$y' = a \operatorname{Sin} \left[\alpha t + \alpha_1 \left(x + \frac{\lambda}{2}\right)\right] = - a \operatorname{Sin} (\alpha t + \alpha_1 x) \qquad 4)$$

Hier ist a numerisch kleiner und von dem gleichen Vorzeichen, wie A. Von $t = t_0$ gilt dann:

für die positive x-Axe:

$$Y + y = A \operatorname{Sin}(\alpha t + \alpha_1 x) + a \operatorname{Sin}[\alpha t - \alpha_1 (x + \varepsilon)] \quad 5)$$

für die negative x-Axe:

$$Y + y' = (A - a) \operatorname{Sin}(\alpha t + \alpha_1 x) \quad 6)$$

Als Mittelwert der Intensität der durch die Gleichungen 1), 5), 6) dargestellten Wellen erhält man:

$$J = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau Y^2 \, dt = \frac{A^2}{2} \quad 7)$$

$$J_1 = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau (Y + y)^2 \, dt = \frac{A^2 + a^2}{2} + a A \operatorname{Cos} \alpha_1 (2x + \varepsilon) \quad 8)$$

$$J_2 = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau (Y + y')^2 \, dt = \frac{(A - a)^2}{2} \quad 9)$$

Denkt man sich längs der x-Axe eine aus zwei parallelen Drähten bestehende Leitung, an welcher von der positiven Seite her ein elektromagnetischer Wellenzug gegen den Nullpunkt geleitet wird und denkt sich ferner im Nullpunkte eine der im Eingange dieser Arbeit beschriebenen Veränderungen an der Leitung angebracht, so stellen die Gleichungen 7)—9) die Intensitätsverhältnisse des Wellenzuges dar, wie dieselben experimentell aus den mechanischen Wirkungen der elektrischen Drahtwellen ermittelt werden können. Gl. 8) zeigt, dass sich vor der Reflexionsstelle ein System von Maximis und Minimis der Intensität ausbildet. Die Entfernung des ersten Maximum oder Minimum von der Reflexionsstelle hängt von der Größe des erlittenen Phasenverlustes, die Stärke der Maxima und Minima von der Amplitude des zurückgeworfenen Theiles ab.

Kennt man die Differenz der Intensitäten, welche im ersten Maximum (Minimum) und dem darauffolgenden Minimum (Maximum) statthaben, also die Größe $2aA$, und ist ferner der Wert von A selbst bekannt, so ist dadurch die Amplitude der reflectirten Welle — a — ermittelt.

Die Formeln 1)—9) sind unter der Voraussetzung abgeleitet, dass der Wellenzug die Gestalt einer ungedämpften

Sinuscurve besitzt. Nach den Untersuchungen von V. Bjerknes[1]) trifft diese Voraussetzung allerdings nicht zu. Für das erste Maximum (Minimum) ist jedoch die Abweichung des durch Gleichung 8) gegebenen Wertes von dem aus den strengen Formeln folgenden keine erhebliche. Aber auch aus einem anderen Grunde,[2]) welcher an einer späteren Stelle angegeben werden soll, hätte die Anwendung einer strengeren Formel keinen Nutzen.

Gienge vom Ursprunge der Wellen dauernd ein ungedämpfter, sinusartiger Wellenzug aus, so würden die Maxima und Minima auf der ganzen positiven x-Axe gleichmäßig und in gleicher Stärke vertheilt sein, so dass, wenn die in jedem Punkte stattfindende mittlere Intensität als Ordinate aufgetragen würde, die Intensitätscurve die Form einer ungedämpften Sinuslinie hätte. Die Curve der mittleren Intensität auf der negativen x-Axe dagegen wäre eine der x-Axe parallele Gerade mit der Ordinate $\frac{(A - a)^2}{2}$.

Der Umstand nun, dass, wie V. Bjerknes[3]) gezeigt hat, vom Ursprung ein nur wenige Wellenlängen umfassender, stark gedämpfter Wellenzug ausgeht, hat zur Folge, dass der Verlauf der Intensitätscurve ein anderer ist. Derselbe ist in der Figur IV angedeutet.

Die oben beschriebene Versuchsanordnung gestattet nun, die Größen A, a und ε experimentell zu ermitteln. Die Ausschläge des Elektrometers sind der an der betreffenden Stelle herrschenden Intensität proportional. Für die Zwecke dieser Arbeit, bei welcher es auf absolute Messungen nicht ankommt, kann man die Ausschläge den Intensitäten gleichsetzen. Bei Benutzung eines Plattenpaares allein bestimmt sich nach Gl. 7) die Intensität der ungestörten Welle.

Dabei ist natürlich vorausgesetzt, dass jeder vom Inductorium ausgesendete Wellenzug nur ein einziges Mal an dem Elektrometer vorüberzieht, dass also die Bedingungen des Versuchs möglichst dieselben sind, welche an einer wirklich unendlich langen Leitung stattfinden. Durch das früher erwähnte An-

[1]) V. Bjerknes, Wied. Ann. 44. p. 513. 1891.

[2]) Siehe Seite 16 Tab. VII und darauf folgende Bemerkungen.

[3]) V. Bjerknes, l. c.

schalten von dünnem Eisendraht an das Ende der Leitung waren diese Bedingungen nahezu hergestellt.

In der Leitung aus dünnem Eisendraht [dünner Kupfer- oder Neusilberdraht thäte ähnliche Dienste] wird die Welle nämlich so stark gedämpft,[1]) dass sie sich bereits nach wenigen Metern vollständig todt gelaufen hat. Man überzeugt sich leicht von dieser Thatsache, indem man versucht, zwischen den Leitungsdrähten Funken überschlagen zu lassen. Während man am Beginn der Eisenleitung noch kräftige Fünkchen erhält, ist es selbst im verdunkelten Zimmer unmöglich, derartige Fünkchen an dem Ende der Eisenleitung zu beobachten. Auch kann man sich leicht von der mit der Länge der Eisenleitung rasch abnehmenden Länge der Fünkchen überzeugen.

Somit wirkte jeder Wellenzug nur einmal auf das Elektrometer, abgesehen von dem an der Übergangsstelle Kupfer-Eisen reflectirten Theile, welcher aber gering genug ist, um vernachlässigt zu werden. Ohne Anwendung des Eisendrahtes wäre natürlich jeder Wellenzug unendlich oft zwischen den Enden der Leitung hin und her reflectirt worden und hätte bei der geringen, aber noch nicht genau ermittelten Dämpfung, welche elektrische Wellen an einer Leitung aus Kupferdraht, wie sie bei diesen Versuchen verwendet wurde, erleiden, die Ausschläge des Elektrometers in völlig uncontrolirbarer Weise verstärkt.

Zur Messung des Phasenunterschiedes und der Differenz der Intensitäten im ersten Maximum und Minimum wurde das Elektrometer als Differentialinstrument verwendet.

Da die beiden Plattenpaare sich an Stellen der Leitung befinden, die um $\frac{\lambda}{4}$ von einander abstehen, ist es klar, dass, wenn an dem Orte des einen Paares ein Maximum der Intensität stattfindet, das andere Paar sich gleichzeitig an einem Minimumpunkte befindet. Der Ausschlag des Elektrometers gibt also unmittelbar die Größe $2aA$.

Wird das System der Maxima und Minima allmählich an dem Apparat vorbeigeschoben,[2]) so wird, während der Ausschlag

[1]) Siehe auch die Abhandlung von V. Bjerknes Wied. Ann. 47, p. 69, 1892.

[2]) Vgl. Figur V zur Erläuterung des Gesagten. Als Ordinaten sind die Elektrometerausschläge (im Sinne der unteren Platten nach der positiven,

abnimmt, einmal eine Stellung erreicht, in welcher die beiden Paare sich an Punkten gleicher Intensität befinden; der Ausschlag verschwindet vollständig. Verschiebt man weiter, so tritt abermals ein Ausschlag ein — diesmal aber im entgegengesetzten Sinne, wie früher. Derselbe wächst, bis wiederum das eine Paar an einer Maximum-, das andere an einer Minimumstelle sich befindet u. s. w.

Es sei hier schon bemerkt, dass in diesem Falle die auf Seite 7 unten erwähnten Versuchsbedingungen durchaus nicht mehr erfüllt sind.

Die Bestimmung der Phasendifferenz geschieht in folgender Weise:

Findet die Reflexion ohne Phasenverlust statt, so liegt in der Reflexionsstelle ein Maximum.

Der erste größte Ausschlag des Differentialelektrometers muss also eintreten, wenn die Reflexionsstelle unmittelbar hinter den unteren Platten liegt. Der Ausschlag erfolgt im Drehungssinne der unteren Platten.

Bei der Reflexion mit dem Verluste einer halben Wellenlänge tritt der erste größte Ausschlag ebenfalls dann ein, wenn die betreffende Stelle unmittelbar hinter den unteren Platten angebracht ist; der Sinn des Ausschlages ist aber der entgegengesetzte, da die Reflexionsstelle nun einem Minimum entspricht.

Wenn: $$0 < \varepsilon < \frac{\lambda}{2} \qquad 10)$$

so findet nach Gleichung 8) das erste Minimum statt, wenn $\alpha_1 (2x + \varepsilon) = \pi$; die Abscisse desselben ist demnach:

$$x_{Min} = \frac{\lambda}{4} - \frac{\varepsilon}{2}; \text{ nach 10) also} \qquad 10a)$$

$$\frac{\lambda}{4} > x_{Min} > 0$$

Für das erste Maximum ist hier:

$$\alpha_1 (2x + \varepsilon) = 2\pi \text{ oder:}$$

$$x_{Max} = \frac{\lambda}{2} - \frac{\varepsilon}{2}; \text{ mithin:} \qquad 10b)$$

im Sinne der oberen Platten nach der negativen y-Richtung) aufgetragen. Die Abscissen geben die Entfernung der untern Platten von der Reflexionsstelle, welche im Nullpunkte gedacht ist, in Metern an, nach Versuchen, welche mit Condensatoren von 2 *cm* und 15 *cm* Radius gemacht sind.

$$\frac{\lambda}{2} > \underset{Max}{x} > \frac{\lambda}{4}$$

Ist jedoch $-\frac{\lambda}{2} < \varepsilon < 0$, so folgt aus Gleichung 10*a*) für das erste Minimum:

$$\frac{\lambda}{2} > \underset{Min}{x} > \frac{\lambda}{4}.$$

Das erste Maximum findet in diesem Falle statt, wenn:

$$\alpha_1 (2x + \varepsilon) = 0 \text{ oder:}$$

$$\underset{Max}{x} = -\frac{\varepsilon}{2}; \text{ somit:} \qquad 10c)$$

$$\frac{\lambda}{4} > \underset{Max}{x} > 0$$

Zur besseren Übersicht diene die folgende leicht verständliche Tabelle. Die letzte Rubrik gibt die Veränderungen der Leitung an, durch welche die in der ersten Spalte verzeichneten Werte von ε veranlasst werden.

	$x = 0$	$0 < x < \frac{\lambda}{4}$	$\frac{\lambda}{4} < x < \frac{\lambda}{2}$	$x = \frac{\lambda}{2}$	
$\varepsilon = 0$	Maximum			Minimum	Leitung ganz geöffnet (durchschnitten)
$0 > \varepsilon > -\frac{\lambda}{2}$		Maximum	Minimum		Erweiterung; Übergang von dickem zu dünnem Draht.
$0 < \varepsilon < \frac{\lambda}{2}$		Minimum	Maximum		Verengung; Condensator; Übergang von dünnem zu dickem Draht.
$\varepsilon = \frac{\lambda}{2}$	Minimum			Maximum	Leitung ganz geschlossen.

Die Versuche.

Zur Erläuterung und zum Beweise des bisher Gesagten mögen nun die quantitativen Ergebnisse einiger Versuche mitgetheilt werden.

Die Erscheinungen, welche den Gegenstand der vorliegenden Arbeit bilden, wurden zuerst bei einer, von der angegebenen verschiedenen Versuchsanordnung beobachtet; dieselbe unterschied sich von der in Figur II dargestellten nur dadurch, dass die beiden Plattenpaare des Elektrometers durch ein längeres Stück[1]) der Leitung verbunden waren. Die Verengungen und Erweiterungen wurden an diesem Verbindungsstück vorgenommen, so dass der Ausschlag die Größe $J_1 - J_2$ (siehe Gl. 8, 9) angibt.

Bei den Versuchen über den Einfluss einer Verengung betrug der Abstand der Drähte längs des ganzen Verbindungsstückes 8 *cm*, an der verengten Stelle 2 *cm*. Das Umgekehrte gilt für die Versuche mit der Erweiterung. (Fig. VI.) Tabelle I gibt das Ergebnis der Versuche mit der Verengung, Tabelle II dasjenige mit der Erweiterung an.

In der ersten Verticalreihe ist der Abstand der gestörten Stelle vom oberen Plattenpaar in Metern verzeichnet. Die Ausschläge sind in Scalentheilen angegeben; die Nadel befand sich bei ungestörter Leitung nicht in der Nulllage, daher entsprachen die Ausschläge dem Drehungssinne der oberen Platten; sie sind das Resultat einer einmaligen Ablesung, nicht das Mittel aus mehreren.

Tabelle I.

m.	*sc. th.*	*m.*	*sc. th.*
1	24,5	9	37,0
2	23,5	10	35,0
3	28,5	11	28,6
4	32,0	12	29,0
5	34,0	13	?
6	45,5	14	31,0
7	44,8	15	40,0
8	40,8		

Tabelle II.

m.	*sc. th.*	*m.*	*sc. th.*
1	18,5	9	8,0
2	22,0	10	9,5
3	13,0	11	20,0
4	?	12	15,5
5	4,0	13	12,9
6	3,0	14	11,5
7	4,8	15	3,2
8	5,0		

[1]) Die Länge betrug 16 *m*.

Nach diesen Tabellen ist Figur VII entworfen. Als Abscissen sind die Entfernungen der gestörten Stelle von den oberen Platten, als Ordinaten die entsprechenden Ausschläge aufgetragen. Die Curve zeigt somit den Verlauf von $J_1 - J_2$ oder, da ja J_2 constant ist, von J_1 selbt. Die ausgezogene Linie entspricht der Tabelle I, die gestrichelte der Tabelle II. Aus Gründen der Raumersparnis sind die der Tab. I entnommenen Ordinaten alle um 22 Scalentheile verkleinert worden.

Bei den weiteren Versuchen war die im Eingange beschriebene Anordnung im Gebrauch.

Die Phasenverschiebung ε kann in mehrfacher Weise bestimmt werden. Entweder man bestimmt die Entfernung des Condensators (und nur von solchen ist weiterhin die Rede) von den untern Platten, für welche der Elektrometerausschlag das erste Maximum erreicht,[1]) oder man ermittelt die Lage des Condensators, für welche der Elektrometerausschlag das erste Mal verschwindet. Letztere Methode ist die genauere; die Einstellung kann auf wenige *cm* genau geschehen.

In Tabelle III sind diesbezügliche Versuche zusammengestellt. Die mit R überschriebene Columne gibt den Radius der Condensatorplatten in *cm* an; in der mit m bezeichneten ist die Entfernung des Condensators vom Elektrometer angegeben, für welche der Ausschlag verschwindet. Bei vollständiger Abschließung durch einen quer über die Leitungsdrähte gelegten Draht war diese Entfernung 2,3 $m = \frac{\lambda}{8}$.

In der dritten Columne ist unter x die Entfernung des Condensators enthalten, für welche der Ausschlag ein Maximum (im Drehungssinne der oberen Platten) ist; x gibt also die Entfernung des ersten Minimum der Intensität von der Reflexionsstelle an. Die Zahlen dieser Columne sind aus jenen der zweiten (welche die directen Beobachtungen enthält) durch Subtraction von $\frac{\lambda}{8} = 2{,}3\ m$ gewonnen. Die Columne mit der Überschrift ε enthält die sich hieraus nach Gleichung 10a) ergebenden Phasenverschiebungen in m. Der gegenseitige Abstand der Condensatorplatten war 2 *cm*; nur bei dem Condensator $R = 20$ *cm* betrug dieser Abstand 4 *cm*.

[1]) Siehe Seite 9 u. 10.

Tabelle III.

R.	m.	x.	ε	$\varepsilon\lambda$
2	zwischen 4,5 u. 4,6	zwischen 2,2 u. 2,3	4,7	0,255
3	4,55	2,25	4,7	0,255
4	zwischen 4,4 u. 4,5	zwischen 2,1 u. 2,2	4,9	0,266
5	zwischen 4,3 u. 4,4	zwischen 2,0 u. 2,1	5,1	0,277
6	zwischen 4,2 u. 4,3	zwischen 1,9 u. 2,0	5,3	0,288
7	zwischen 4,2 u. 4,25	zwischen 1,9 u. 1,95	5,35	0,290
8	zwischen 4, 1 u. 4, 15	zwischen 1,8 u. 1,85	5,55	0,302
9	zwischen 3,95 u. 4,0	zwischen 1,65 u. 1,7	5,85	0,318
10	zwischen 3,85 u. 3,9	zwischen 1,55 u. 1,6	6,05	0,329
15	zwischen 3,2 u. 3,3	zwischen 0,9 u. 1,0	7,3	0,397
20	zwischen 2,9 u. 3,0	zwischen 0,6, u. 0,7		

Die Ermittlung des Wertes von $2aA$ geschah durch Beobachtung des Elektrometerausschlages bei der in Rubrik x der Tabelle III angegebenen Stellung des betreffenden Condensators.

Tabelle IV theilt eine diesbezügliche Versuchsreihe mit, bei welcher die Wirksamkeit der Funken äußerst constant geblieben war. Der Ausschlag des Elektrometers betrug zu Anfang und zu Ende dieser Versuchsreihe bei Benützung eines Plattenpaares allein $\frac{A^2}{2} = 44$ Scalentheile. Daraus ergibt sich $A = 9{,}38$.

Columne R hat dieselbe Bedeutung, wie in Tabelle III. Die andern Bezeichnungen sind ohne weiteres verständlich.

Tabelle IV.

R	$2aA$	a	a/A
1	2,2	0,1173	0,01
2	7,5	0,3998	0,04
3	11,1	0,5917	0,06
4	17,8	0,9488	0,10
5	27,6	1,471	0,16
6	39,1	2,084	0,22
7	44,9	2,393	0,26
8	58,9	3,139	0,34
9	75,0	3,998	0,43
15	177,0	9,484	1,01

Die mit a überschriebene Columne zeigt, dass die Amplitude des reflectirten Theiles wirklich wächst, wenn die Capacität des Condensators größer wird. Es ergibt sich aber aus dieser Columne weiter, dass schon bei dem Condensator von 15 *cm* Radius und natürlich auch bei größeren Capacitäten der reflectirte Theil scheinbar größer ist, als der ankommende.

Dass dies ein unmögliches Resultat ist, ist ganz selbstverständlich. Es ist aber leicht, den Grund für dasselbe aufzufinden. Die nächstliegende Annahme ist, dass der an dem Condensator zurückgeworfene Theil zum Ursprung der Leitung zurückläuft, dort reflectirt wird und bei seiner Rückkunft in ganz derselben Weise das Differentialelektrometer beeinflusst, wie die ursprüngliche Welle, indem auch er an dem Condensator eine theilweise Reflexion erleidet und so zu stehenden Wellen Anlass gibt u. s. f.

Die Richtigkeit dieser Annahme lässt sich durch den folgenden Versuch nachweisen.

In einer Entfernung $\frac{\lambda}{4} = 4{,}6\,m$ vom Ursprunge der Leitung wurde ein Controlelektrometer eingeschaltet. Dasselbe war ganz

ähnlich construirt, wie das Differentialinstrument, hatte jedoch nur ein Plattenpaar und eine einfache Nadel. Zur Aufhängung diente ein ziemlich starker Quarzfaden. Die Empfindlichkeit war bei weitem nicht so groß, als bei dem früher beschriebenen Apparat. Während letzterer $\frac{A^2}{2}$ durchschnittlich $= 45$ Scalentheilen gab, erhielt man mit dem Controlelektrometer im Mittel 16 Scalentheile.

Es wurde an diesem Elektrometer zunächst der Ausschlag bei ungestörter Leitung beobachtet. Dann wurden an ganz denselben Stellen, wie in den früheren Versuchen, also etwa 150 *m* hinter dem Ursprung der Leitung, die verschiedenen Condensatoren angesetzt, beziehungsweise die Leitung durch einen Draht vollständig geschlossen und wieder der Ausschlag beobachtet. Tabelle V enthält die Ergebnisse derartiger Versuche. Die erste Horizontalreihe gibt den Ausschlag bei ungestörter, die zweite denselben bei gestörter Leitung an. Die Zahlen über den Verticalreihen geben den Radius des Condensators in *cm*, welchem die Zahl in der untersten Horizontalreihe entspricht. Je zwei untereinander stehende Ausschläge sind unmittelbar hintereinander beobachtet.

Tabelle V.

ganz geschlossen	15	10	8	4
15,5	14,8	15,8	17,1	17,0
39,0	26,8	17,2	19,0	17,2

Eine zweite Versuchsreihe enthält:

Tabelle VI.

ganz geschlossen	15	10	10	8	4
16,0	16,0	15,9	17,0	17,0	17,5
37,5	27,0	18,0	20,7	19,0	17,8

Die mitgetheilten Zahlen bestätigen die oben gemachte Annahme, wenn man noch bedenkt, dass bei der etwa dreimal größeren Empfindlichkeit des Differentialelektrometers und dem Umstande, dass dasselbe die doppelte größte Abweichung vom Mittelwerte angibt, die Unterschiede noch beträchtlich größer ausfallen würden, als bei dem verwendeten Controlelektrometer. Man wird daher weiter nicht mehr zweifeln, dass die sämmtlichen in Tabelle IV unter a und a/A angeführten Zahlen zu groß sind.

Versucht man, bei Benutzung nur eines Plattenpaares des Elektrometers die Amplitude des über die Reflexionsstelle hinausgehenden Theiles der Welle nach den Gleichungen 7) und 9) in der Weise zu bestimmen, dass man einmal den Ausschlag bei ungestörter Leitung, dann bei vorgeschaltetem Condensator beobachtet, und vergleicht die hieraus sich ergebenden Werte a/A mit Tabelle IV, so stößt man abermals auf Schwierigkeiten. Tab. VII möge zunächst die Ergebnisse der Versuche mittheilen. Dieselbe ist ohne weitere Erklärung verständlich. Jede Zahl der Spalten $\frac{A^2}{2}$ und $\frac{(A-a)^2}{2}$ stellt das Mittel aus mehreren Beobachtungen dar, welche so angeordnet waren, dass abwechselnd $\frac{A^2}{2}$ und $\frac{(A-a)^2}{2}$ abgelesen wurde.

Tabelle VII.

R	$\frac{A^2}{2}$	$\frac{(A-a)^2}{2}$	A	$A-a$	$a\ A$	aus Tab. IV a/A
15	39,65	17,6	8,904	5,932	0,33	1,01
10	38,55	29,8	8,780	7,720	0,12	?
9	42,25	34,22	9,191	8,273	0,10	0,43
8	44,87	40,57	9,473	9,007	0,05	0,34
7	44,4	41,2	9,423	9,076	0,04	0,26
6	41,2	39,6	9,076	8,898	0,02	0,22
5	41,05	40,75	9,059	9,028	0,003	0,16

Die für a/A sich ergebenden Werte sind ganz beträchtlich kleiner, als die aus Tabelle IV ermittelten; aus den zu Tabelle V und VI gemachten Bemerkungen kann man aber schließen,

dass infolge des Theiles, welcher bei der Rückkunft der reflectirten Welle an den Condensator durchgelassen wird, der unter $\frac{(A-a)^2}{2}$ verzeichnete Ausschlag zu groß ausfallen musste.[1])

Der hieraus berechnete Wert von a und folglich von a/A muss daher nothwendig zu klein sein. Der wahre Wert von a/A liegt offenbar zwischen den aus Tabelle IV und VII folgenden. Im allgemeinen wird der wahre Wert nicht genau gleich dem Mittel aus den beiden beobachteten Werten sein, sondern näher an dem einen oder dem andern liegen, je nachdem die störende Wirkung des bei der zweiten oder öfteren Rückkehr der reflectirten Welle vom Condensator zurückgeworfenen oder durchgelassenen Theiles überwiegt. Es wird auf jeden Fall eine Annäherung an die Wahrheit sein, wenn man aus den in den beiden letzten Rubriken der Tab. VII enthaltenen, zusammengehörigen Werten das arithmetische Mittel nimmt. Dies ist in Tabelle VIII geschehen.

Tabelle VIII.

R	a/A
15	0,67
9	0,26
8	0,19
7	0,15
6	0,12
5	0,081

Aus den mitgetheilten Zahlen das Gesetz abzuleiten, nach welchem a/A mit der Capacität des Condensators zusammenhängt, erscheint bei der durch die Natur der Sache bedingten Ungenauigkeit der angewandten Methode zur Zeit unthunlich. Den bei Gelegenheit der Tabellen V und VI besprochenen Übelstand der Anordnung könnte man jedenfalls bei späteren Untersuchungen durch Anwendung eines stärker dämpfenden Leitungsmaterials, eventuell durch entsprechende Verlängerung

[1]) Vgl. Zusatz II. Seite 23.

des zwischen Inductorium und Elektrometer gelegenen Stückes der Leitung vermeiden.[1])

Condensator und Zweigleitung.

Wenn in der vorliegenden Arbeit von einer Reflexionsstelle gesprochen wurde, so wurde darunter die Verbindungsstelle des Condensators mit der Leitung verstanden. Offenbar ist dies eine willkürliche Bezeichnung und man ist vollständig berechtigt zu fragen, an welchem Punkte die Reflexion wirklich stattfindet.

Man könnte z. B. der Meinung sein, dass an der Verbindungsstelle von Condensator und Leitung eine Verzweigung der Welle stattfinde; der Condensator lade sich, entlade sich wieder, und der Entladungsstrom gehe — aus Symmetriegründen wäre es wahrscheinlich — zu gleichen Theilen nach der positiven und negativen Seite der Leitung. Das Verhältnis der Dauer von Ladung und Entladung des Condensators zur Periode der Welle könnte die Phasendifferenz erklären.

Diese Auffassung wäre jedoch eine irrige.

Dies erhellt schon aus der Unmöglichkeit, dieselbe Schlussweise auf irgend eine andere der beschriebenen Veränderungen anzuwenden, welche doch ganz analoge Wirkungen haben, wie ein Condensator.

Es folgt aber auch daraus, dass es nach dieser Auffassung unmöglich wäre, dass nur ein verschwindender Bruchtheil der ankommenden Welle durchgelassen und fast die ganze Welle reflectirt wird. Dies beobachtet man aber schon bei Condensatoren von 1 m^2 Oberfläche und 2 cm Abstand der Platten, ebenso bei noch größeren Condensatoren.

Ferner müsste nach der angeführten Anschauungsweise die bei der Reflexion stattfindende Phasenverzögerung periodisch zu- und abnehmen, wenn die Capacität und mit ihr die Ladungs- und Entladungsdauer des Condensators allmählich vergrößert wird. Ein derartiges Verhalten ist aber experimentell absolut nicht nachzuweisen gewesen, obwohl Condensatoren von 3 cm^2 bis 2 m^2 Oberfläche der einzelnen Belegung verwendet wurden.

Ich habe diese Anschauung deshalb erwähnt, und auf ihre Unrichtigkeit hingewiesen, weil man thatsächlich eine Versuchsanordnung herstellen kann, welche eine gewisse Ähnlichkeit

[1]) Vgl. Zusatz II.

mit der Methode der Condensatoren hat und auf welche die erwähnte Betrachtungsweise wirklich passt.

Diese Anordnung ist die folgende: An irgend einer Stelle der Leitung wird eine Zweigleitung angebracht, wie dies in Figur VIII zur Anschauung gebracht ist. Vergrößert man nun die Länge der Zweigleitung, so sieht man den Ausschlag eines hinter der Verzweigungsstelle angebrachten Elektrometers[1]) periodisch ab- und zunehmen.

Der Verlauf der Curve, welche den Elektrometerausschlag als Function der Länge der Zweigleitung darstellt, ist genau der entgegengesetzte, wenn die Zweigleitung das einemal an ihrem Ende geöffnet, das anderemal geschlossen ist. Die Erscheinung rührt offenbar davon her, dass an der Verzweigungsstelle der Leitung sich auch die Welle theilt; der in die Zweigleitung gehende Theil wird an dem Ende derselben mit dem Phasenverluste 0 oder $\frac{\lambda}{2}$ reflectirt, je nachdem die Zweigleitung geöffnet oder geschlossen ist, und geht, an den Verzweigungspunkt zurückgelangt zum Theile nach der positiven, zum Theile

Tabelle IX.

m.	*sc. th.*
0	0,0
1	20,0
2	30,0
3	43,0
4	37,0
5	?
6	36,0
7	35,0
8	28,0
9	16,0
10	8,0
11	21,0
12	31,0
13	32,0

Tabelle X.

m.	*sc. th.*
0	33,0
1	32,0
2	31,0
3	25,0
4	13,0
5	6,0
6	27,0
7	32,0
8	34,0
9	32,0
10	?
11	29,0
12	26,0
13	20,0

[1]) Um Missverständnissen vorzubeugen, bemerke ich, dass das Elektrometer mit der Hauptleitung, nicht mit der Zweigleitung verbunden war.

nach der negativen Seite der Leitung, wo er mit dem ursprünglichen Wellenzuge interferirt.

Tabelle IX gibt das Ergebnis eines Versuches mit geschlossener, Tabelle X mit geöffneter Zweigleitung. Figur IX stellt nach Tabelle IX, X den Elektrometerausschlag hinter der Verzweigungsstelle als Ordinate, die Länge der entsprechenden Zweigleitung als Abscisse dar. Es sei noch bemerkt, dass die Wellenlänge bei diesen Versuchen beiläufig 20 *m* betrug.

Um Versuche über den Einfluss des Überganges von dickem zu dünnerem Drahte oder umgekehrt nicht ganz vermissen zu lassen, mögen schließlich noch einige diesbezügliche Beobachtungen mitgetheilt werden.

In einer Entfernung von 2 *m* und 6,5 *m* hinter dem Differentialelektrometer wurden 0,75 *m* der Leitungsdrähte entfernt, um dickeren oder dünneren Draht einsetzen zu können. Geschah dies Einsetzen bei 2 *m* [6,5 *m*], so war natürlich die Lücke bei 6,5 *m* [2 *m*] durch ein Stück des bei der übrigen Leitung verwendeten Drahtes ausgefüllt.

In Tabelle XI ist außer der Größe auch der Sinn des Elektrometerausschlages angegeben. Nach den früheren Auseinandersetzungen ergibt sich daraus, dass die Reflexion beim Übergang zum dünneren Draht derjenigen an einer Erweiterung, beim Übergang zu dickerem Draht derjenigen an einer Verengung entspricht. Übrigens konnte man sich davon auch leicht durch das Experiment überzeugen.

Tabelle XI.

	2 *m* hinter d. Elektrom.		6,5 *m* hinter d. Elektrom.	
Durchmesser und Material des eingeschalteten Drahtes	Ausschlag im Drehungssinne der	Größe des Ausschlages in *sc. th.*	Ausschlag im Drehungssinne der	Größe des Ausschlages in *sc. th.*
0,1 *mm* Kupferdraht	untern Pl.	18,5	oberen Pl.	14,0
0,5 *mm* Neusilberdraht	untern Pl.	7,0	oberen Pl.	5,0
1,2 *mm* Neusilberdraht	oberen Pl.	1,0	unteren Pl	1,0
5,0 *mm* Kupferdraht	oberen Pl.	?	unteren Pl.	?
1 *cm* breite Zinkblechstreifen	oberen Pl.	35,0	unteren Pl.	?

Endergebnisse.

1. Es ist gezeigt worden, dass, wenn an einer übrigens aus zwei parallelen Drähten von bestimmtem Querschnitt bestehenden Leitung ein elektrischer Wellenzug fortgeleitet wird, ein Theil desselben an solchen Stellen der Leitung reflectirt wird, wo

a) entweder der Abstand der Drähte verringert,

b) oder derselbe vergrößert ist,

c) oder wo ein Übergang von dickerem zu dünnerem Leitungsdraht oder umgekehrt stattfindet,

d) oder wo jeder der Leitungsdrähte mit je einer Belegung eines Condensators verbunden wird.

2. Es ist ferner gezeigt worden, dass diese Reflexion mit einer von der Größe der an der Leitung vorgenommenen Veränderung abhängenden Phasenverzögerung stattfindet; in einem speciellen Beispiele ist diese Phasenverzögerung für Wellen einer bestimmten Periode und Condensatoren von bestimmter Capacität ermittelt worden.

3. Weiter wurde gezeigt, dass die Phasenverzögerung für eine Verengung oder die derselben gleichwertigen Veränderungen Übergang zu dickerem Draht (Condensator) zwischen 0 und $\frac{\lambda}{2}$, für eine Erweiterung (oder Übergang zu dünnerem Drahte) zwischen $-\frac{\lambda}{2}$ und 0 gelegen ist.

4. Es wurde, wenigstens in erster Annäherung, das Verhältnis zwischen der Amplitude des reflectirten und ankommenden Wellenzuges ermittelt und ein Weg angegeben, um die der Methode anhaftenden Mängel zu beseitigen.

5. Es ist das wesentlich verschiedene Verhalten von Condensatoren und Zweigleitungen klargestellt worden.

6. Es ist durch die Feststellung der in No. 1) erwähnten Erscheinungen die Kenntnis einer bei manchen Versuchen mit elektrischen Drahtwellen äußerst lästigen Fehlerquelle gewonnen worden.

Zum Schlusse sei es mir noch gestattet, Herrn Professor Hertz für seine wertvollen Rathschläge und die große Liebenswürdigkeit, mit welcher er in jeder Hinsicht die Durchführung meiner Arbeit unterstützte, an dieser Stelle meinen aufrichtigsten Dank zu sagen.

Zusätze.

I. Bei quantitativen Versuchen mit elektrischen Wellen liegt eine der Hauptschwierigkeiten in der großen Unregelmäßigkeit der Wirksamkeit der primären Funken. Um die Funken für eine längere Zeit einigermaßen constant zu erhalten, bediente ich mich eines bereits von H. Classen[1]) beschriebenen Mittels. Dasselbe besteht darin, dass während der Versuche ein gleichförmiger Luftstrom auf die Funkenstrecke gerichtet wurde. Derselbe wurde durch ein an der Wasserleitung angeschlossenes Gebläse hervorgebracht und durch Schläuche zum Inductorium geleitet; dort trat er aus einer spitz ausgezogenen Glasröhre gegen die Funkenstrecke aus. Der Umstand, dass in den Berichten der Herren Classen, Boltzmann und Toepler[2]) einander widersprechende Mittheilungen über die Wirksamkeit des Luftstromes gemacht wurden, mag es rechtfertigen, dass ich hier auch meine Erfahrungen aufzeichne. Mit Hilfe des Luftstromes konnte die Funkenstrecke oft Tage lang in brauchbarem Zustande erhalten werden, obwohl die Polkugeln in bedeutend höherem Grade angegriffen wurden, als ohne Anwendung des genannten Hilfsmittels. Die Funken wechselten wohl auch in ihrer Brauchbarkeit, — oft in recht störender Weise — die durchschnittliche Dauer, während welcher die Funkenstrecke verwendet werden konnte, ohne gereinigt werden zu müssen, war aber entschieden größer bei Anwendung des Luftstromes, als ohne denselben. Über das Wesen der Einwirkung kann nach den bisherigen Erfahrungen nichts ausgesagt werden. Es schien mir in einigen Fällen, als ob die Wirkung auf beide Pole nicht dieselbe wäre, doch kann ich ein endgiltiges Ergebnis nicht mittheilen.

II. Wird die secundäre Leitung in geringer Entfernung vom Inductorium entweder geschlossen oder durchschnitten, so ändern die primären Funken ihr Aussehen; ihr Glanz erhöht sich ebenso bedeutend, wie ihr Geknatter. Der Grund dieser offenbaren Rückwirkung der secundären Leitung auf die primäre ist mir zur Zeit noch nicht vollständig klar. Es lässt sich

[1]) H. Classen, Wied. Ann. 39, p. 647 1890.
[2]) H. Classen l. c.
Boltzmann, Wied. Ann. 40, p. 399, 1890.
A. Toepler, Wied. Ann. 46, p. 478, 1892.

darüber ohne besondere Versuche nichts aussagen, da es fraglich erscheint, ob unter den erwähnten Verhältnissen die Fähigkeit der primären Funken, Schwingungen zu erregen, erhöht oder vermindert wird. Ersteres scheint wirklich einzutreten.

Statt nämlich die Leitung ganz abzuschließen, wurde unmittelbar hinter dem Inductorium einer der in der vorliegenden Arbeit verwendeten Condensatoren an der Leitung angebracht. Der Ausschlag des ca. 140 m vom Ursprung der Wellen entfernten Elektrometers war bei Anwendung des Condensators in der beschriebenen Weise größer, als ohne denselben — obwohl er, bei ungeänderter Wirksamkeit der Funken, hätte kleiner sein müssen. Dies wurde durch mehrfache Wiederholung des Versuches unzweifelhaft festgestellt.

Ein derartiges Abschließen oder Zerschneiden der Leitung oder das Anschalten eines Condensators u. dgl. können nach meiner Ansicht nur dann auf den primären Kreis wirken, wenn die an der betreffenden Stelle reflectirte Welle zum primären Kreis zurückkehrt, solange dieser wirklich noch Schwingungen aussendet. Beträgt also der ausgesandte Wellenzug $k \cdot \lambda$, so kann eine im Abstande $x \begin{matrix} = \\ < \end{matrix} \frac{k}{2} \cdot \lambda$ angebrachte Störung noch eine Einwirkung auf den primären Kreis haben. In den früher beschriebenen Versuchen, wo bei einer Wellenlänge $\lambda = 18{,}4\ m$ die Veränderungen 140 bis 160 m hinter dem Ursprung der Wellen angebracht waren, wäre also eine derartige Rückwirkung nur möglich, wenn der ausgesandte Wellenzug mehr als 17,5 λ betragen hätte. Dann allerdings konnte nach der eben ausgesprochenen Ansicht eine Verstärkung des primären Funkens eintreten. Dies würde aber eine weitere Erklärung dafür geben, dass aus den der Tabelle VII entsprechenden Versuchen in allen Fällen ein so viel geringerer Wert für a/A gefolgert werden musste, als aus den Versuchen zu Tabelle IV.